

Thermal Characteristics Analysis of Power Device for Motor Driving Power Converter

Moontaek Cho*, Chungsik Lee*, SangBock Lee**

Division of Electrical & Electronic Engineerings, Daewon University College*, Dept. of Radiology, Nambu University**

전동기 구동용 전력 변환기에 대한 전력소자의 열적 특성 해석

조문택*, 이충식*, 이상복**

대원대학교 전기전자계열*, 남부대학교 방사선학과**

Abstract

In this paper, the basic behavior of the environment and the driving time as a prediction of the lifetime of the power semiconductor devices were recorded. Radiator of a power device driving time and temperature operating environment, including cumulative record by the controller of the power converter, and doing it so you can see the power semiconductor devices for the life of the structure that the size of the change in the temperature of the semiconductor chip and the number of iterations to maintenance warranty period because of a lifetime by forecasting or replacement can be made at the appropriate time that is considered.

Key Words : power semiconductor, lifetime, power converter

요약

논문에서는 전력용반도체 소자의 수명예측으로 기초적인 동작환경과 구동시간들을 기록하였다. 전력변환기의 제어기에 의하여 전력소자의 구동시간과 방열기의 온도 등 동작환경을 누적하여 기록하고 이를 확인할 수 있도록 하므로써 전력용 반도체소자는 그 구조에서 수명은 반도체 칩의 온도변화의 크기와 반복회수로 사용기간을 보증하고 있으므로 이에 의한 수명의 예측으로 유지보수 또는 교체가 적절한 시점에서 이루어질 수 있다고 판단된다.

중심단어: 전력용 반도체, 수명예측, 전력변환기

I. 서론

원자력플랜트와 방사선기기에서 전기·계장기술은 그린 에너지 정책과 그린 성장을 위한 핵심 기술이다.

전기·계장기술에서 전동기를 구동하는 전력변환기에 대하여 고장에 대한 예방과 진단은 매우 중요하다. 현재 전력용 반도체 소자는 IGBT가 주로 사용되고 있으며, 이의 노후정도 또는 열화정도의 측정은 일반적인 반도체소자와 마찬가지로 불가능하다고 여겨진다^{[1],[2]}.

전력변환기의 신뢰성의 향상과 시스템의 재설계 및 회로의 개선 면에서 고장 후 전력소자에 대한 고장분석은 가능하지만 한 개의 부품인 전력소자에 대한 개별이력 관리 등은 가능하지 않다고 여겨진다. 전력변환기의 제어기에 전력소자의 구동시간과 방열기의 온도 등 동작환경을 누적하여 기록하고 표시장치로 확인할 수 있다면 유지보수 또는 교체가 적절한 시점에서 이루어질 수 있다고 판단된다^{[3],[4]}. 본 논문에서는 전력반도체소자의 수명예측으로 기초적인 동작환경과 구동시간들을 기록하였다. 즉, 전력변환기의 제어기에 의하여 전력소자의 구동시간과 방열기의 온도 등 동작환경을 누적하여 기록하고 이를 확인할 수 있도록 하므로써 전력용 반도체소자는 그 구조에서 수명은 반도체 칩의 온도변화의 크기와 반복회수로 사용시간을 보증하고 있으므로 이에 의한 수명의 예측으로 유지보수 또는 교체가 적절한 시점에서 이루어질 수 있다고 판단된다.

앞으로의 과제로 수명에 영향을 주는 열 스트레스의 정도에 대하여는 정확한 추정치에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

II. 전력용 반도체 소자의 수명과 열 스트레스

전력소자는 사용 중 과전압, 과부하에 의한 과전류 등 및 환경조건은 유용한 수명기간을 결정하는 요인으로 모듈내부의 와이어와 칩간의 와이어본드 접합부 및 절연기판-베이스판 접합부에 열 피로현상의 고장이 발생하게 된다. 이 열 피로현상 및 그 고장사례로 모듈을 동작하게 했을 때 열 스트레스는 그림 1과 같이 케이스 온도의 변화는 작지만 접합온도가 빈번하게 발생한 동작패턴에서 수명(파워 사이클 수명)과 시스템의 기동, 정지에서 발생하는 비교적 평온한 온도변화가 발생하는 동작패턴에서의 수명(서말 사이클 수명)으로 구분된다^{[5],[6],[7]}.

그림 2의 일반적인 파워모듈의 구조에 있어서 모듈 동작에서 접합온도변화가 발생하면 알루미늄 와이어와 실리콘칩의 선팅창계수의 차에 따라서 발생한 응력으로 이 접합면에 균열이 발생한다. 이 균열이 진전하여 최종적으로는 박리 모드로 된다.

인버터의 동작 등에서 모듈의 케이스온도는 비교적 평온한 경우에 있어서 접합온도변화가 빈번하게 일어나는 조건에서는 이 파워사이클 파괴를 기기설계단계에서 고려할 필요가 있다. 그림 3에 파워사이클에 의한 접합부 박리사진 예를 보였다.

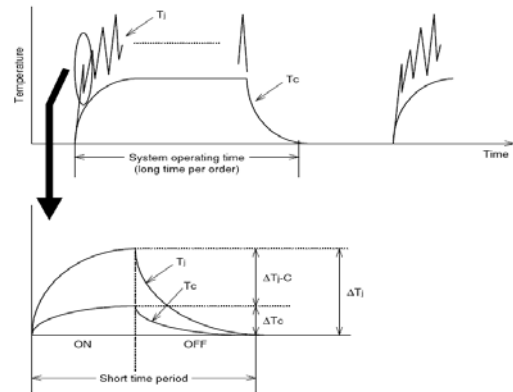


Fig. 1. Change in temperature of the module

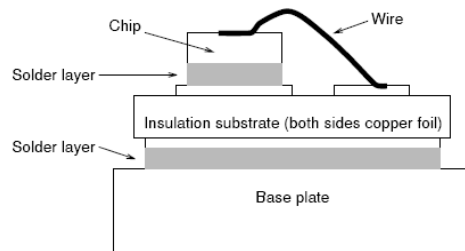


Fig. 2. Structure of the power module

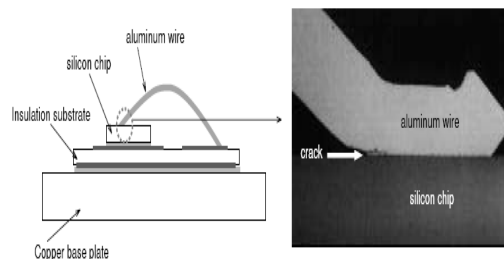


Fig. 3. Burned by power cycling test example

시스템의 기동, 정지에 의하여 파워모듈의 케이스 온도(T_c)에 비교적 온화함에 큰 온도변화가 발생하는

동작패턴에는 그림 2의 모듈구조에서 절연기판과 베이스판의 선펡창 케이스의 차에 의하여 이 사이에 존재하는 댄넵층에 응력왜가 발생한다.

III. 접합부의 온도와 손실

그림 4에 의하여 접합부의 온도계산은 식 (1)로 접합부의 온도 변화량은 식 (2)로 주어진다. 접합부와 케이스간의 열 저항은 해당하는 소자의 데이터를 참조하면 된다.

$$T_j = P \{R_{th(j-c)} + R_{th(c-h)} + R_{th(h-a)}\} + T_a \quad \dots (1)$$

$$\Delta T_j = P \{R_{th(j-c)} + R_{th(c-h)} + R_{th(h-a)}\} \quad \dots \dots (2)$$

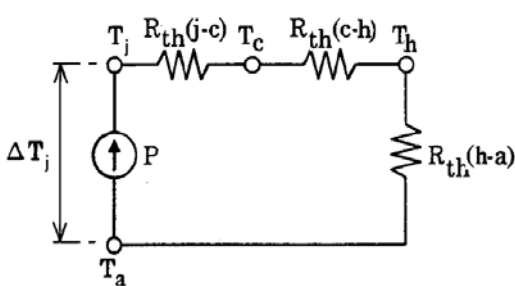


Fig. 4. Thermal equivalent circuit

그림 4와 식(1) 및 식(2)를 고찰하면 전력소자의 손실이 없는 경우(전류가 흐르지 않는 경우)는 접합부와 케이스 및 방열판의 온도는 정상상태에서 모두 외부 공기의 온도와 같아진다. 일반적으로 방열기는 충분히 설계하므로 전력변환기를 구동하여 전류가 흐르면 접합부에 손실이 발생하고 방열기의 온도가 정상상태로 되기까지 어느 정도의 시간이 요구된다. 또 전력소자와 방열판이 좋은 접촉상태라면 케이스와 방열판의 온도는 거의 같게 되며 방열판의 온도는 측정이 가능하므로 접합부의 온도는 방열판의 온도를 기준으로 계산을 할 수 있다.

접합부의 온도는 그림 5와 같이 방열판의 온도를 기준으로 하여 추정하는 것으로 한다. 이것은 방열판의 크기와 방열효과가 충분한 조건과 전력소자가 방열판에 접촉이 잘되어 있다고 가정한 것과 같다. 그림 5로부터 접합부의 온도는 식(3)으로 계산한다.

$$\begin{cases} T_j = P R_{th(j-c)} + T_c \\ \Delta T_j = P R_{th(j-c)} \end{cases} \dots \dots \dots (3)$$

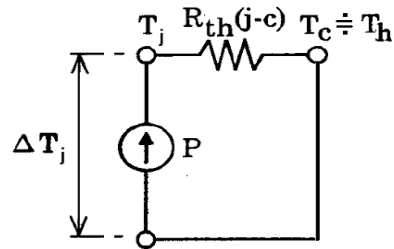


Fig. 5. Simplified thermal equivalent circuit

IV. 전력변환기 운전 데이터

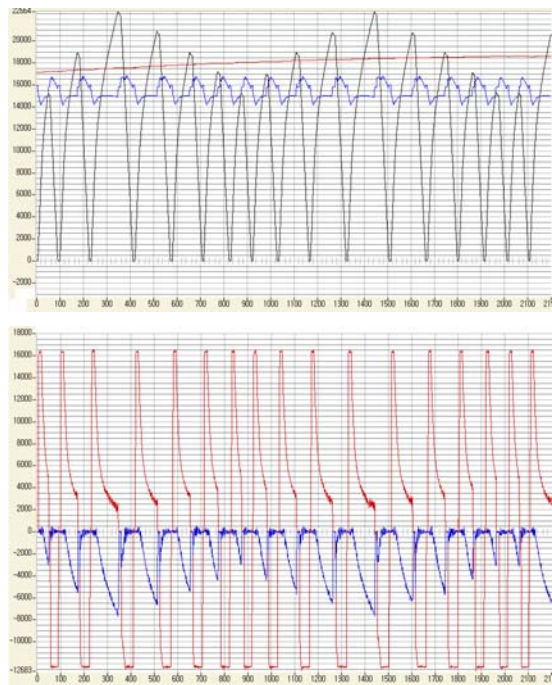


Fig. 6. Initial operation status

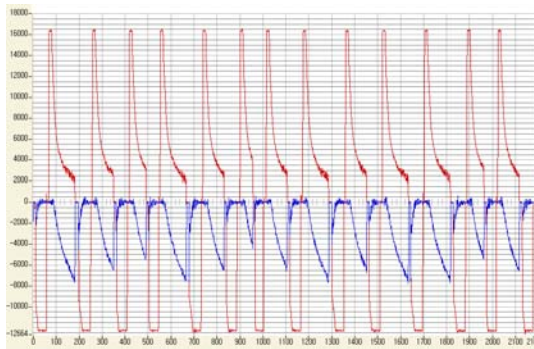
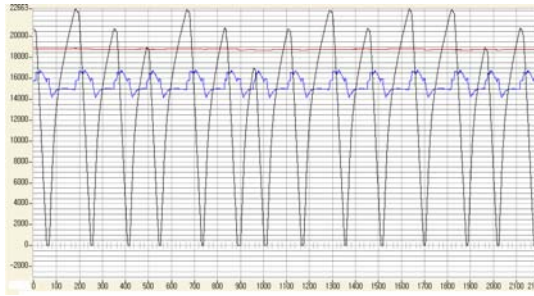


Fig. 7. Operation status of steady-state

그림 6과 그림 7은 실험장치에 대하여 1시간이상 운전을 하면서 기록된 데이터 중에서 일부분을 그래프로 나타낸 것이다. 기록을 위한 데이터의 샘플링간격은 1[sec]로 하였다. 그림 6에서 온도가 운전할수록 상승하고 있으므로 실험장치의 운전초기상태가 된다. 그림 7은 온도가 변화지 않고 있으므로 정상상태의 운전구간이며 운전을 종료하면 온도는 서서히 낮아질 것이다. 전력소자의 수명예측에 있어서는 고장 메커니즘에서 설명한 파워사이클은 구동과 제동과 같이 반복하는 사이클이 될 것이며 이 순간에 있어서 접합부의 온도계산이 요구 된다.

V. 결론

원자력플랜트와 방사선기기에서 전기·계장기술은 핵심 기술이다. 전기·계장기술에서 전동기를 구동하는 전력변환기에 대하여 고장에 대한 예방과 진단은 매우 중요하다. 현재 전력소자는 IGBT가 주로 사용되고 있으며 이의 노후정도 또는 열화정도의 측정은 일반적인 반도체소자와 마찬가지로 불가능하다고 여겨진다. 전력변환기의 신뢰성의 향상과 시스템의 재설계

및 회로의 개선 면에서 고장 후 전력소자에 대한 고장 분석은 가능하지만 한 개의 부품인 전력소자에 대한 개별이력 관리 등은 가능하지 않다고 여겨진다. 전력변환기의 제어기에 전력소자의 구동시간과 방열기의 온도 등 동작환경을 누적하여 기록하고 표시장치로 확인할 수 있다면 유지보수 또는 교체가 적절한 시점에서 이루어질 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Tamagawa-seik, "고속·디지털·트래킹方式, 絶対値角度検出 10/12ビット レゾルバ/デジタル変換IC", <<http://www.tamagawa-seiki.co.jp/pdf/1591n3j.pdf>>
- [2] 吉田耕治, 清水康吉, "駆動電動機の革新 (直接駆動式主電動機システムの開発まとめ)", JR EAST Technical Review No.8-Summer, pp.31-42, 2004.
- [3] Hitachi, Ltd. "Hitachi IGBT Module Application Manual" Power & Industrial Systems Ref.No. IGBT-01 (Rev.2) <<http://www.pi.hitachi.co.jp/pse/images/pdf/igbt-aple.pdf>>
- [4] Mitsubishi Electric semiconductor. "Power Module Reliability" <http://www.mitsubishichips.com/Global/reliability/pdf/0512_e.pdf>
- [5] T. Suzuki, T. Koseki, S. Sone, "A Study on a Method of Train Automatic Stopping Control with a Pure Electric Brake", I.E.E. Japan Joint Technical Meeting on Transportation & Electric Railways and Linear Drive, TER-00-37 LD-00-64, pp. 15-18, July 2000.
- [6] S. Takashi, K. Takafumi, "Simple Train Automatic Stopping Control with Constant Power Braking Pattern Supposing the Pure Electric Brake." I.E.E. Japan 2001 Japan Industry Applications Society Conference (JISAC2001), Vol. 3, pp. 1285-1288, August 2001.
- [7] H. Tabuchi, T. Suzuki, T. Koseki, "A Proposal and Study on Braking Signs for Increasing Rate of Electric Brake", 2001 National Convention Record, I.E.E. Japan, Vol. 5, No. 253, pp. 2092-2093, March 2001.